

# 钢管接触式超声波检测探头角度的选择

许华全

(四川三洲特种钢管有限公司, 四川 成都 610300)

**摘要:** 介绍了钢管接触式超声波检测对探头角度的选择, 将钢管厚径比( $T/D$ )分为3种情况, 并分别选择探头角度。分析认为:  $T/D \leq 0.226$  时, 采用纯横波对管体进行检测;  $0.226 < T/D \leq 0.260$  时, 采用变型横波对管体进行检测, 最佳入射角为  $23.6^\circ$ ;  $T/D > 0.260$  时, 其探头入射角应小于最佳入射角  $23.6^\circ$ 。

**关键词:** 钢管; 超声波检测; 接触式; 探头角度;  $K$  值; 厚径比; 变型横波

**中图分类号:** TG335.71; TG115.28 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2014)06-0076-03

## Selection of Probe Angle of Contact Type Ultrasonic Detection System for Steel Pipes

XU Huaquan

(Sichuan Sanzhou Specialty Steel Tube Co., Ltd., Chengdu 610300, China)

**Abstract:** All involved in the paper is how to select proper probe angles for the contact type ultrasonic detection system for steel pipes. According to the three pipe thickness/diameter ratios or  $T/D$ 's, the probe angles are determined respectively. Based on relevant analysis, it is identified that in case of  $T/D \leq 0.226$ , pure transversal wave will be used to detect the pipe body; in case of  $0.226 < T/D \leq 0.260$ , transformed transversal wave will be used to detect the pipe body with the best angle of incidence as  $23.6^\circ$ ; and in case of  $T/D > 0.260$ , the probe angle will be less than the best incidence angle of  $23.6^\circ$ .

**Key words:** steel pipe; ultrasonic detection; contact type; probe angle;  $K$  value; thickness/diameter ratio; transformed transversal wave

管材超声波检测最主要的目的是检测钢管内、外壁的纵向缺陷<sup>[1]</sup>, 以沿外圆作周向扫查的横波检测为主。这些缺陷主要表现为沿钢管轴向延伸而在横截面上呈径向分布(如裂纹、折叠、翘皮等), 对此目前已开展了很多分析研究和检测<sup>[2-5]</sup>; 但是, 如果超声波检测探头角度的选择不当, 极易造成漏检, 甚至无法检测到内壁缺陷。

### 1 探头角度的选择

#### 1.1 探头 $K$ 值的选择

钢管接触式超声波检测时, 折射角正切值( $K$  值)的选择至关重要, 不是所有的钢管都适合横波

检测。利用横波检测必须满足以下 2 个条件:

(1) 声束入射后, 在管壁内仅产生折射横波(进入工件的声束为纯横波);

(2) 横波声束能扫查到钢管内壁, 折射横波声束与钢管内壁相切, 如图 1 所示。

对于条件(1), 由第一临界角公式可求得工件中产生纯横波的条件, 即:  $\sin \alpha > C_{L1}/C_{L2}$ 。其中,  $\alpha$  为入射角;  $C_{L1}$  与  $C_{L2}$  分别是第一、第二介质中的纵波声速。

对于条件(2), 当折射横波声束与管体内壁相切时, 是声束到达内壁的临界状态。此时, 折射角  $\beta_s$  应满足  $\sin \beta_s \leq r/R$ ; 其中,  $r$  与  $R$  分别是钢管的内、外半径。

由折射定律可知:  $\sin \alpha / \sin \beta_s = C_{L1} / C_s$ ; 其中,  $C_s$  是钢管中横波声速。

许华全(1987-), 男, 助理工程师, 主要从事无缝钢管的检测工作。

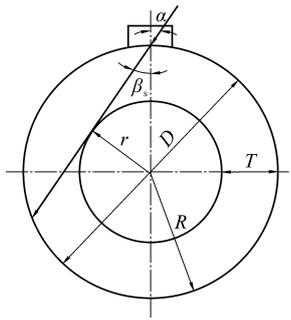


图1 折射横波声束与钢管内壁相切示意

由上可知，要在钢管中得到纯横波探伤并使之到达内壁，折射角必须满足以下公式：

$$\frac{C_{L11}}{C_{L12}} < \frac{C_{L11}}{C_s} \sin \beta_s \leq \frac{C_{L11}}{C_s} (1 - \frac{2T}{D}) \quad (1)$$

式中  $T$  —— 钢管壁厚，mm；

$D$  —— 钢管外径，mm。

由式(1)可以推导出：

$$T/D \leq (1 - C_s/C_{L12})/2 \quad (2)$$

对于钢材而言，纵波声速  $C_{L12}=5\ 900(\text{m/s})$ ，横波声速  $C_s=3\ 230(\text{m/s})$ 。将  $C_{L12}$  与  $C_s$  的值代入式(2)，则有： $T/D \leq 0.226$ ；因此，当  $T/D \leq 0.226$  时，可使用横波检测。

由图1的几何关系可推导出  $K$  值：

$$K \leq \frac{D-2T}{2\sqrt{DT-T^2}} \quad (3)$$

选定了探头的  $K$  值，便是对折射角和入射角进行了控制。以  $\Phi 273\ \text{mm} \times 50\ \text{mm}$  钢管为例，将  $D=273(\text{mm})$ ， $T=50(\text{mm})$  代入式(3)中，可求得  $K \leq 0.82$ 。即，只要  $K \leq 0.82$  就能满足纯横波检测要求。不同  $K$  值(折射角  $\beta_s$ )对应的  $T/D$  值见表1。

$K$	$\beta_s/(^\circ)$	$r/R$	$T/D$
0.65	33.2	0.547	0.226
0.70	35.0	0.574	0.213
0.80	38.7	0.625	0.187
1.00	45.0	0.707	0.146
1.50	56.3	0.832	0.084

从表1可以看出：当  $T/D \leq 0.226$  时，探头的  $K$  值越小，采用横波检测，可检测的最大壁厚就越大； $K$  值越大，可检测的最大壁厚就越小；当  $K=$

0.65， $\beta_s=33.2^\circ$  时，理论上可检测钢管的最大厚径比为 0.226。

## 1.2 探头入射角的选择

### 1.2.1 厚径比 $0.226 < T/D \leq 0.260$ 的厚壁管

对于厚径比  $0.226 < T/D \leq 0.260$  的厚壁管，使用折射横波已不能扫查到管体内壁，此时只有利用变型横波进行检测。当入射声束以小于第一临界角的角度进入钢管，在管壁中同时产生纵波  $L$  和横波  $S''$ ，其中横波  $S''$  的能量很小，纵波  $L$  在钢管外壁反射，产生的反射横波  $S'$  即为变型横波。利用变型横波检测钢管内壁的原理如图2所示。

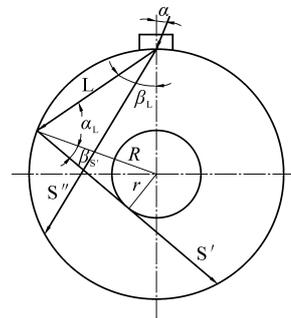


图2 利用变型横波检测钢管内壁的原理示意

对纵波斜入射到钢/空气界面的反射规律进行研究，可得出横波声压反射率  $r_{LS}$  与纵波声压反射率  $r_{LL}$  相互之间的变化关系，如图3所示。从图3可以看出：当入射纵波反射角  $\alpha_L$  为  $60^\circ$  左右时，横波声压反射率  $r_{LS}$  约为 60%，纵波声压反射率  $r_{LL}$  约为 20%<sup>[5]</sup>。根据这个理论可知，在入射纵波反射角  $\alpha_L$  为  $60^\circ$  左右时会产生很强的变型横波  $S'$ ，此时可利用该变型横波  $S'$  对管体内壁进行检测。

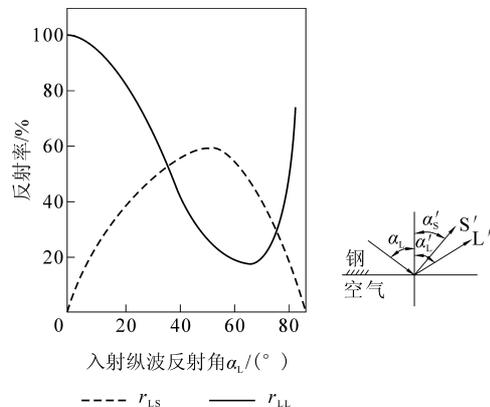


图3 纵波斜入射到钢/空气界面时横波、纵波声压反射率的变化

由图 2 和折射定律可知:  $\sin \alpha / \sin \beta_L = C_{L1} / C_{L2}$ ; 其中,  $\beta_L$  为纵波折射角。可推导出入射角的计算公式:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{C_{L1}}{C_{L2}} \times \sin \beta_L\right) \quad (4)$$

当  $\alpha_L = \beta_L = 60^\circ$  时, 有最佳变型横波  $S'$ , 此时变型横波能量最强。对于有机玻璃/钢界面而言,  $C_{L1} = 2730(\text{m/s})$ ,  $C_{L2} = 5900(\text{m/s})$ ; 将  $C_{L1}$  与  $C_{L2}$  的值带入式(4)可求得  $\alpha = 23.6^\circ$ ; 但是, 入射角为  $23.6^\circ$  的探头, 其检测范围也存在局限性。

由反射定律可知:  $\sin \alpha_L / \sin \beta_S = C_{L2} / C_S$ 。由  $T$ 、 $D$ 、 $r$ 、 $R$  之间的数理关系可得到:  $T/D = (1-r/R)/2$ 。变型横波  $S'$  与钢管内壁相切时是声束到达内壁的临界状态, 而此时的  $\beta_S$  应满足  $\sin \beta_S \leq r/R$  条件。由上述条件可求得  $T/D \leq 0.260$ , 即厚径比为  $T/D > 0.260$  的厚壁管用入射角为  $23.6^\circ$  的探头时, 其内壁无法扫查到; 所以, 厚径比  $0.226 < T/D \leq 0.260$  的钢管, 其超声波检测时探头的最佳入射角为  $23.6^\circ$ 。

### 1.2.2 厚径比 $T/D > 0.260$ 的厚壁管

检测厚径比  $T/D > 0.260$  的厚壁管时, 探头的入射角应小于  $23.6^\circ$ , 其大小可以根据 1.2.1 节中的内容进行计算, 但此时变型横波的反射率相当低, 探伤灵敏度大大降低。实际生产中, 涉及该厚径比的钢管很少, 这里不作深入讨论。

## 2 结 论

综上所述, 钢管超声波检测对探头角度的选择主要分 3 种情况:

- (1) 当  $T/D \leq 0.226$  时, 根据钢管外径  $D$ 、壁厚  $T$ , 选择合适的  $K$  值, 利用纯横波进行检测。
- (2) 当  $0.226 < T/D \leq 0.260$  时, 利用变型横波进行检测, 选取  $23.6^\circ$  入射角探头最佳。
- (3) 当  $T/D > 0.260$  时, 超声波检测灵敏度低, 入射角的大小根据 1.2.1 节的内容进行计算, 制作出的探头需在实际工作中反复试验并得到稳定检测数据后才可用于实际检测。

## 3 参考文献

- [1] 史亦伟. 超声检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 赵仁顺, 梁志农. 超声波检测钢管管体分层缺陷方法的研究与应用[J]. 钢管, 2012, 41(6): 72-75.
- [3] 田党, 李群. 关于无缝钢管离层和分层缺陷的讨论[J]. 钢管, 2012, 41(3): 51-56.
- [4] 赵仁顺. 超厚壁钢管内壁缺陷的超声波探伤方法研究[J]. 钢管, 2010, 39(3): 55-59.
- [5] 郑晖, 林树青. 超声检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008: 41.

(收稿日期: 2014-05-18)

## ● 信 息

### 河南林州凤宝管业有限公司新建热处理生产线试车成功

2014 年 11 月 2 日, 河南林州凤宝管业有限公司新建的热处理生产线热负荷试车成功。该生产线设计年产能 15 万 t, 产品规格  $\Phi 60.3 \sim 280.0 \text{ mm}$ 。可以对钢管进行调质(淬火+回火)、正火+回火、正火、回火等热处理, 满足不同钢种的热处理工艺要求。热处理生产线的投产, 延伸了河南林州凤宝管业有限公司的产业链, 增加了产品附加值, 提高了企业核心竞争力, 为企业转型升级奠定了基础。

(河南林州凤宝管业有限公司 冯元庆)

### 浙江卓业能源装备有限公司不锈钢专用 $\Phi 720 \text{ mm}$ 锥形辊穿孔机试车成功

2014 年 11 月 10 日, 浙江卓业能源装备有限公司新建的不锈钢专用  $\Phi 720 \text{ mm}$  锥形辊穿孔机试车成功。在  $\Phi 250 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  304L 不锈钢无缝钢管的试生产过程中, 设备运行平稳, 穿孔顺利; 穿出的毛管头尾整齐, 没有扭曲、弯曲现象, 外观平直; 钢管外径偏差  $\pm 0.75\%$ , 壁厚偏差  $\pm 5\%$ , 全长弯曲度小于  $0.1\%$ , 内外表面没有质量缺陷。

该套设备由浙江卓业能源装备有限公司自主设计和制造, 具有可生产产品规格范围宽( $\Phi 200 \sim 820 \text{ mm} \times 10 \sim 200 \text{ mm}$ )、自动化程度高、机组弹跳值小等特点, 年生产能力 3 万 t, 是国内大型不锈钢穿孔机组之一。

(浙江卓业能源装备有限公司 郑世建)